

Steer-by-wire steering system for vehicles has electronic steering regulator connected to steering control devices that modifies driver's steering demand depending on dynamic parameters

Publication number: DE19912169

Publication date: 2000-07-06

Inventor: DILGER ELMAR (DE); AHNER PETER (DE); LOHNER HERBERT (DE); DOMINKE PETER (DE); CAO CHI-THUAN (DE); JANETZKE HELMUT (DE); PFEIFFER WOLFGANG (DE); NGUYEN NGOC-THACH (DE); ALLGEIER THORSTEN (DE); YUAN BO (DE); MUELLER BERND (DE); HARTER WERNER (DE); HESS WERNER (DE); RIES-MUELLER KLAUS (DE); SAUER THOMAS (DE); BLESSING PETER (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- international: **B62D5/04; B62D6/00; B62D5/04; B62D6/00; (IPC1-7): B62D5/04; B62D6/00; B62D37/00; B62D111/00; B62D137/00; B62D153/00**

- european: **B62D5/04; B62D6/00**

Application number: DE19991012169 19990318

Priority number(s): DE19991012169 19990318; DE19981060613 19981229

Also published as:

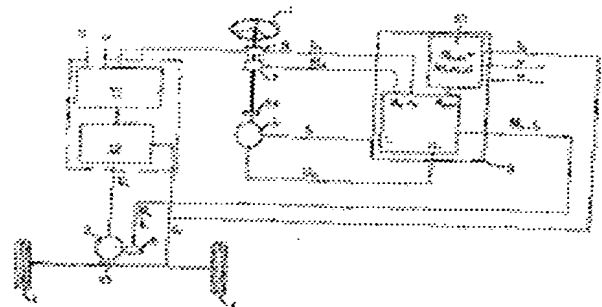


US6219604 (B1)
JP2000198453 (A)

[Report a data error here](#)

Abstract of DE19912169

The system has an electronically regulated steering control device (3) on the steering gearbox or (15) on both steered front wheels, a steering wheel sensor (7,9) detecting the driver's steering demand and a feedback actuator unit (5,6) detecting the road feedback to the driver via the steering wheel (1). An electronic steering regulator (10) functionally connected to the electromechanical steering control device(s) modifies the detected driver's steering demand depending on vehicle dynamic parameters to form a demand value for the control device(s). The feedback actuator contains a steering wheel control device (5) coupled to the steering wheel via a gearbox (5a) and a steering wheel regulator (6).



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 12 169 A 1

21 Aktenzeichen: 199 12 169.9
22 Anmeldetag: 18. 3. 1999
43 Offenlegungstag: 6. 7. 2000

51 Int. Cl. 7:
B 62 D 5/04
B 62 D 6/00
B 62 D 37/00
// B62D 111:00,
137:00,153:00

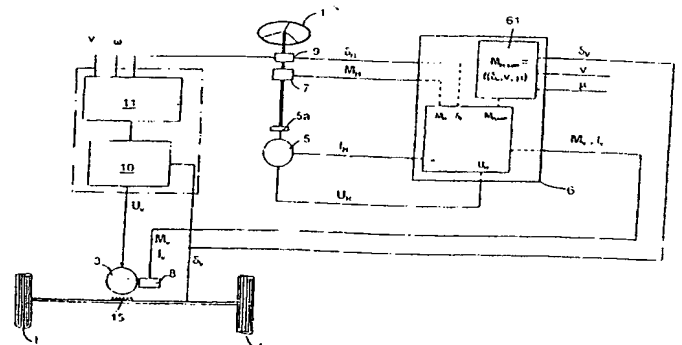
DE 199 12 169 A 1

66 Innere Priorität:
198 60 613. 3 29. 12. 1998
71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Dilger, Elmar, Dr., 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE; Ahner, Peter, 71032 Böblingen, DE; Lohner, Herbert, 71292 Friolzheim, DE; Dominke, Peter, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE; Cao, Chi-Thuan, Dr., 70825 Korntal-Münchingen, DE; Janetzke, Helmut, 71282 Hemmingen, DE; Pfeiffer, Wolfgang, 71723 Großbottwar, DE; Nguyen, Ngoc-Thach, 71723 Großbottwar, DE; Allgeier, Thorsten, 74078 Heilbronn, DE; Yuan, Bo, Dr., 76131 Karlsruhe, DE; Müller, Bernd, Dr., 71229 Leonberg, DE; Harter, Werner, 75428 Illingen, DE; Hess, Werner, 70499 Stuttgart, DE; Ries-Mueller, Klaus, 74906 Bad Rappenau, DE; Sauer, Thomas, 70599 Stuttgart, DE; Blessing, Peter, Prof., 74078 Heilbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Steer-by-wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge
57 Die Erfindung betrifft ein Steer-by-Wire Lenksystem, welches aus einem elektronisch geregelten elektromotorischen Lenksteller (3), der am Lenkgetriebe (15) der Vorderachse oder auch an beiden Vorderrädern angebracht ist, einem elektronischen Lenkregler (10) und einer Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6) besteht. Der Fahrerlenkwunsch (δ_H) wird am Lenkrad (1) durch einen Geber (9) abgegriffen. Die Rückwirkungen der Straße lassen sich durch die Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6) über das Lenkrad (1) an den Fahrer übermitteln. Das durch den Wegfall der Lenksäule verlorene Straßengefühl, durch das der Fahrerwunsch stark beeinflusst ist, wird erfindungsgemäß durch die Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6) nachgebildet.



DE 199 12 169 A 1

5 Die Erfindung geht aus von einem Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge mit einem am Lenkgetriebe der Vorderachse oder an beiden lenkbaren Vorderrädern angebrachten, elektronisch geregelten Lenksteller, einem den Fahrerlenkwunsch am Lenkrad abgreifenden Lenkradsensor und mit einer Rückwirkungen der Straße an den Fahrer über das Lenkrad übermittelnden Feedback-Aktuatereinheit.

Ein derartiges Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge ist aus der DE 195 40 956 C1 bekannt. Bei diesem bekannten Lenksystem läßt sich die sonst starre mechanische Antriebsverbindung zwischen Lenkrad und einer Lenkgetriebeanordnung an den gelenkten Fahrzeugrädern durch Öffnen einer Kupplung auftrennen. Dann ist dieses Lenksystem ein Steer-by-Wire Lenksystem, bei dem das Lenkrad lediglich mittelbar mit der Lenkgetriebeanordnung gekoppelt ist. Hier ist zur Übermittlung der Rückwirkungen der Straße an den Fahrer über das Lenkrad ein Handkraftsteller vorgesehen, der als selbsthemmungsfreier Elektromotor ausgeführt ist und, angesteuert von einer Steuerelektronik am Lenkrad einen steuerbaren Betätigungswiderstand bewirkt.

Ein weiteres aus dem US-Patent 5 347 458 bekanntes Steer-by-Wire Lenksystem verwendet einen an der Lenkradwelle angreifenden Lenkradsteller dazu, dem Lenkrad eine Reaktionskraft aufzuprägen, die sich als eine mathematische Funktion darstellen läßt, welche einen der Winkelbeschleunigung des Lenkrads proportionalen Beschleunigungsterm, einen der Winkelgeschwindigkeit des Lenkrads proportionalen Geschwindigkeitsterm, einen dem Auslenkungswinkel des Lenkrads proportionalen Proportionalterm und einen konstanten Term enthält, dessen Wert konstant ist, dessen Vorzeichen jedoch von der Auslenkungsrichtung des Lenkrads aus einer neutralen Position abhängt. Mit dieser auf das Lenkrad einwirkenden Reaktionskraft soll dem Fahrzeuglenker nicht nur eine Kraft am Lenkrad entgegengesetzt werden, wie er sie von konventionellen Lenksystemen her gewohnt ist, sondern auch die Fahrzeuglenkbarkeit und Stabilität erhöht, indem Fahrzeugzustände über das Lenkrad dem Fahrer vermittelt werden, so daß dieser die richtigen Lenkmanöver ausführen kann. Indem man den Koeffizienten wenigstens eines der oben genannten Terme in der die Reaktionskraft darstellenden mathematischen Funktion gemäß den Betriebszuständen des Fahrzeugs, wie zum Beispiel der Fahrzeuggeschwindigkeit verändert, läßt sich eine Reaktionskraft erzeugen, die für jeden besonderen Anwendungsfall optimal ist.

Aufgabe und Vorteile der Erfindung

30 Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Fahrzeuglenksystem, bei dem keine mechanische bzw. hydraulische Kopplung zwischen dem Lenkrad und der gelenkten Fahrzeugachse mehr vorliegt, d. h. ein Steer-by-Wire Lenksystem anzugeben, welches nicht nur den vom Lenkradsensor erfaßten Fahrerlenkwunsch unter Berücksichtigung von fahrdynamischen Größen modifizieren kann, sondern auch die Querdynamik durch eine Modifikation des Fahrerlenkwunsches verbessert und gleichzeitig eine individuelle Anpassung an verschiedene Fahreransprüche durch adaptive Nachbildung des durch den Feedback-Aktuator vermittelten Handmoments und damit die Erzeugung adaptiver Sollwerte für den Lenkradregler erlaubt.

Die Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst. Auf der Grundlage der in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale wird ein erfindungsgemäßes Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge geschaffen, das eine flexible Struktur hinsichtlich der Funktionsrealisierung besitzt, den Lenkkomfort durch eine geschwindigkeitsabhängige variable Lenkwinkelübersetzung erhöhen kann, die Querdynamik durch von Fahrzeugbetriebszuständen abhängige Modifikationen des Fahrerlenkwunsches verbessert und das eine individuelle Anpassung an verschiedene Fahreransprüche durch adaptive Nachbildung des durch den Feedback-Aktuator auf das Lenkrad aufgebrachte Handmoments und damit adaptive Sollwerte für den Lenkradregler möglich macht. Mit dem erfindungsgemäß gestalteten Steer-by-Wire Lenksystem läßt sich zum Beispiel die Leistung auf Schlechtwegstrecken über eine Leistungsüberwachung der Lenksteller drosseln und haptische Rückmeldungen bei Überlastung des Lenkstellers dem Fahrer durch das Lenkrad vermitteln, wozu zum Beispiel gehören:

- Veränderung der Lenkgegenkraft bei nicht griffiger Fahrbahn wie beim Aquaplaning, beim Glatteis, usw., bzw. abhängig vom Reibbeiwert der Straßenoberfläche (dieser wird zum Beispiel im ABS-Steuergerät ermittelt);
- Veränderung der Lenkgegenkraft bei Gefahr des Fahrzeugschleuderns bzw. Fahrzeugkippens (die Information dazu kann zum Beispiel aus dem ESP-Steuergerät übertragen werden);
- Veränderung der Lenkgegenkraft bei schlechten Wegstrecken (das Signal für eine schlechte Wegstrecke kann zum Beispiel vom ABS-Steuergerät übertragen werden);
- Anzeige von Fehlbedienungen durch kurzes Ruckeln des Lenkrades beispielsweise bei Überschreiten der Maximaldrehzahl bzw. der maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit.

Die obigen und weiteren vorteilhaften Merkmale der Erfindung werden nachfolgend anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Steer-by-Wire Lenksystems erläuternden Beschreibung anhand der Zeichnung näher beschrieben.

Zeichnungen

Die Fig. 1 zeigt in schematischer, blockschaltbildartiger Darstellung ein mit den erfindungsgemäßen Funktionen ausgestattetes Steer-by-Wire Lenksystem mit einem Lenksteller;

Die Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines mit den erfindungsgemäßen Funktionen ausgestatteten Steer-by-Wire Lenksystems mit zwei Lenkstellern;

Die Fig. 3A zeigt in Form von Funktionsblöcken eine erfindungsgemäße geschwindigkeitsabhängige variable Lenk-

winkelübersetzung;

Die Fig. 3B zeigt graphisch eine mit der geschwindigkeitsabhängigen variablen Lenkwinkelübersetzung nachbildbare monotone Funktion der Lenkwinkelübersetzung abhängig von der Fahrgeschwindigkeit;

Die Fig. 4 zeigt blockschaltbildartig eine Anordnung zur Verbesserung der Querdynamik mittels einer durch das erfindungsgemäße Steer-by-Wire Lenksystem durchführbaren Fahrdynamikregelung;

Die Fig. 5 zeigt schematisch in Form eines Blockschaltbildes eine Regelung für den an der Lenkradwelle angreifenden Feedback-Aktuator gemäß der Erfindung;

Die Fig. 6 zeigt schematisch in Form eines Funktionsblockschaltbildes ein am Feedback-Aktuator gemäß Fig. 5 angekoppeltes Beobachtersystem;

Die Fig. 7 zeigt in Form eines Blockschaltbildes eine Hardwarestruktur eines Mikrorechnersystems durch das die Steuer- und Regelfunktionen in dem erfindungsgemäßen Steer-by-Wire Lenksystem realisierbar sind; und

Die Fig. 8 zeigt in Form eines Blockschaltbildes eine Hardwarestruktur mit zwei Mikrorechnersystemen, mit denen auch die erfindungsgemäßen Steuer- und Regelfunktionen des Steer-by-Wire Lenksystems realisierbar sind.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die Fig. 1 und 2 geben übersichtlich in schematischer Darstellung ein mit den erfindungsgemäßen Funktionen ausgestattetes Steer-by-Wire Lenksystem wieder. Die Bezeichnung "Steer-by-Wire" deutet auf die Tatsache hin, daß die Lenkung nicht über die übliche mechanische Lenksäule, sondern mit Hilfe eines Lenkstellers elektronisch realisiert wird. In Fig. 1 ist nur ein als Elektromotor ausgeführter Lenksteller 3 vorhanden, der über ein Lenkgetriebe 15 an der gelenkten Vorderachse eines Fahrzeugs angreift, während in Fig. 2 eine Ausführungsvariante mit Eingriffen durch zwei als Elektromotoren ausgeführte Lenksteller 3 und 4 dargestellt ist.

Der durch einen Lenkradwinkelsensor 9 erfaßte Fahrerlenkwunsch δ_H , der am Lenkrad 1 vom Fahrer eingegeben wird, wird gezielt mit Hilfe eines mit einem elektronischen Lenkregler 10 verbundenen Sollwertbildners 11 situationsabhängig unter Verwendung fahrdynamischer Größen, wie zum Beispiel der Fahrgeschwindigkeit v , der Gierwinkelgeschwindigkeit ω , modifiziert und als Sollwert an einen Lenkregler 10 weitergeleitet. Weiterhin wird als zusätzliche Meßgröße das vom Fahrer auf das Lenkrad 1 übertragene Drehmoment oder Lenkradmoment M_H von einem Momentensensor 7 gemessen. Der Lenksteller 3 greift bei der in Fig. 1 gezeigten Version über ein Lenkgetriebe 15 an der gelenkten Vorderachse an. Bei der in Fig. 2 gezeigten Version sind an jedem Vorderrad jeweils ein Elektromotor 3, 4 als Lenksteller angebracht. In letzterem Fall können die Vorderräder radweise gelenkt werden, d. h. daß sie nicht in jedem Fall exakt den gleichen Lenkwinkel einschlagen müssen. Der Lenkregler 10 steuert den als Lenksteller dienenden Elektromotor 3 (Fig. 1), bzw. die Elektromotoren 3 und 4 gemäß Fig. 2 jeweils durch eine Ausgangsspannung U_v bzw. $U_{v,l}$ und $U_{v,r}$ an.

Das durch den Wegfall der mit der gelenkten Vorderachse starr verbundenen Lenksäule verlorengegangene Straßengefühl, welches bei einer herkömmlichen Lenkung durch das Rückstellmoment, d. h. durch ein Handmoment am Lenkrad dem Fahrer mitgeteilt wird und wovon der Fahrerlenkwunsch stark beeinflusst wird, wird mit Hilfe eines Feedback-Aktuators wieder hergestellt. Der Feedback-Aktuator des erfindungsgemäßen Steer-by-Wire Lenksystems besteht aus einem als Elektromotor ausgeführten Lenkradsteller 5, der über ein Getriebe 5a an das Lenkrad 1 gekoppelt ist, und aus einem Lenkradregler 6 zur Regelung des Lenkradstellers 5. Das Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ wird durch einen mit dem Lenkradregler 6 funktionell zusammenarbeitenden Sollwertbildner 61 gebildet. Das Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ wird vom Sollwertbildner 61 auf der Basis der am Lenksteller 3 bzw. 3 und 4 angebrachten Momentensensoren bzw. Stromsensoren 8 bzw. 8l und 8r gemessenen Rückstellmomente M_v (bzw. $M_{v,l}$ und $M_{v,r}$) bzw. Ströme I_v (bzw. $I_{v,l}$ und $I_{v,r}$) ermittelt. Alternativ kann das Soll-Handmoment $m_{H,soll}$ auch mit Hilfe eines Feedback-Simulators aus dem von dem Lenkwinkelsensor gemessenen Lenkradwinkel δ_v (bzw. $\delta_{v,l}$ und $\delta_{v,r}$) und anderen im Fahrzeug ohnehin vorhandenen Signalen, wie zum Beispiel der Fahrgeschwindigkeit v und dem Reibwert μ zwischen Straße und Reifen nachgebildet werden. Der Lenkradregler 6 erhält außer dem so ermittelten Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ weitere Größen, wie das von dem mit der Lenkradsäule gekoppelten Momentensensor 7 gemessene Lenkradmoment M_H , den Lenkradwinkel δ_H , der von dem Lenkradwinkelsensor 9 gemessen wird, den Strom I_H des Lenkradstellers 5 und gibt an den Lenkradsteller 5 eine Spannung U_H zur Regelung desselben aus.

Nachstehend wird anhand der Fig. 3A und 3B eine situationsabhängige Sollwertbildung durch den Sollwertbildner 11 für den Lenkregler 10 im Sinne einer Anpassung des Fahrkomfort durch eine geschwindigkeitsabhängige variable Lenkwinkelübersetzung beschrieben.

Das Lenkgetriebe ist konstruktiv mit einer festen Lenkwinkelübersetzung i_s (z. B. 15 bis 17) vorgesehen. Diese Übersetzung wird in der Regel vom Fahrer als angenehm für normale Fahrten bei höheren Geschwindigkeiten empfunden. Beim Rangieren ist aber erwünscht, daß mit kleinen Lenkwinkeln große Radeinschlagwinkel erzielt werden. D. h. die Lenkwinkelübersetzung soll bei niedriger Geschwindigkeit verkleinert werden (zum Beispiel 8 bis 10). Diese Anforderung kann durch die in Fig. 3A skizzierte Anordnung erfüllt werden.

Der Fahrerlenkwunsch δ_H wird mit einer geschwindigkeitsabhängigen Funktion $f(v)$ modifiziert:

$$\delta_H^* = f(v) \cdot \delta_H \quad (1)$$

Dieser wird als neuer Sollwert dem Lenkregler zugeführt:

$$\delta_H^* = i_s \cdot \delta_v$$

Daraus ergibt sich künstlich:

$$\delta_H = (i_s/f(v)) \cdot \delta_v$$

Auf diese Weise wird eine variable Lenkwinkelübersetzung

$$i_s^* = (i_s / l(v))$$

5 realisiert.

Die Funktion $f(v)$ kann zum Beispiel, wie in **Fig. 3B** dargestellt, eine geschwindigkeitsabhängige monotone Funktion sein.

Weiterhin wird anhand der **Fig. 4** eine situationsabhängige Sollwertbildung durch den Sollwertbildner **11** für den Lenkregler **10** im Sinne einer Verbesserung der Querdynamik durch eine Fahrdynamikregelung beschrieben.

10 Die in **Fig. 4** dargestellte Anordnung zur Verbesserung der Querdynamik durch Fahrdynamikregelung paßt einen Fahrerlenkwunsch δ_H mit Hilfe eines Gierreglers so an, daß ein gewünschtes Gierverhalten eingehalten werden kann. Ein Referenzmodell in einem Referenzbildner **14** dient dazu, um das gewünschte Gierverhalten ω_{ref} vorzugeben.

$$15 \quad \omega_{ref} = \left[\frac{v}{l \left(1 + \frac{v^2}{v_{ch}^2} \right)} \cdot \frac{\delta_H}{i_s} \right] \cdot \frac{1}{1 + T_{ref}s}$$

20 worin

ω_{ref} : Soll-Giergeschwindigkeit

v : Geschwindigkeit

25 v_{ch} : Charakteristische Geschwindigkeit ($\approx 60 \dots 100$ km/h)

l : Achsstand

T_{ref} : Zeitkonstante

s : Laplace-Operator

sind.

30 Der Gierregler **13** kann ein standardmäßiger PID-Regler oder ein robuster Modellfolgeregler sein. Der resultierende Ausgang des Gierreglers **13** bestimmt den modifizierten Fahrerlenkwunsch δ_H^* .

Im Fall einer individuellen Vorderradlenkung muß die Geometrie der inneren und äußeren Räder bei der Ermittlung des modifizierten Fahrerlenkwunsches δ_H^* noch berücksichtigt werden:

$$35 \quad \text{Innen:} \quad \delta_{H,i}^* = \left[\frac{R}{R - \left(\frac{b}{2} \right)} \right] \cdot \delta_H^* \quad (3)$$

$$40 \quad \text{Außen:} \quad \delta_{H,a}^* = \left[\frac{R}{R + \left(\frac{b}{2} \right)} \right] \cdot \delta_H^* \quad (4)$$

50 worin

R : Kreisradius der stationären Kreisfahrt, und

b : Radabstand sind,

wobei sich der Kreisradius R aus den Geschwindigkeiten v_i , v_a der hinteren Antriebsräder ermitteln läßt:

$$55 \quad R = \frac{b(v_a + v_i)}{2(v_a - v_i)} \quad (5)$$

worin

v_i : Geschwindigkeit des inneren hinteren Antriebsrades

60 v_a : Geschwindigkeit des äußeren hinteren Antriebsrades sind.

Anstelle der Soll-Giergeschwindigkeit ω_{ref} kann auch die Soll-Querbeschleunigung des Fahrzeuges $a_{y,ref}$ oder eine Kombination dieser beiden Größen verwendet werden.

Der Lenkregler **10** (**Fig. 1**, **Fig. 2**) ist ein Lageregler, der dafür sorgt, daß der Radeinschlagwinkel an den vorderen Rädern dem modifizierten Fahrerlenkwunsch δ_H^* folgt. Der Entwurf des Lenkreglers hängt stark von den Motorvarianten des Lenkstellers ab und wird hier nicht näher erläutert. Grundsätzlich eignen sich hierfür digitale Algorithmen auf der Basis einer PID-Struktur oder generell digitale adaptive Regelstrukturen.

Im Fall einer individuellen Vorderradlenkung werden die Vorderräder mit zwei getrennten Regelkreisen gelenkt. Es ist dann vorgesehen, die logische Richtigkeit der Sollwerte beider Regelkreise durch eine Plausibilitätsprüfung zu sichern.

Der Lenksteller ist nur für normale Lenkmanöver ausgelegt. Kritisch wird diese Auslegung für die Lenkung auf einer langen Schlagloch- oder Feldwegstrecke. Dies wird aber in Kauf genommen, damit die Dimensionierung des Motors klein gehalten wird. Über ein Temperaturmodell kann bei Erwärmung des Motors die Überlastung des Motors erkannt werden. Als Maßnahmen kann entweder eine entsprechend modulierte Rückwirkung dem Lenkrad (z. B. Schwergängigkeit) zugeführt oder die Dynamik und damit die Leistung des Motors zurückgefahren werden.

Im folgenden wird die Ermittlung der Handmomente am Lenkrad erläutert.

Das Handmoment wird durch eine Momentenmessung bzw. eine Strommessung des Lenkstellers ermittelt und aufbereitet. Dies kann auch über eine Modellbildung mit Hilfe ohnehin bekannter Fahrzeugdaten (v , μ , δ_v , etc.) berechnet werden. Beide Verfahren können vorteilhaft kombiniert werden.

A Modellgestützte Nachbildung der Handmomente (Feedback-Simulator)

1. Möglichkeit

Über ein Fahrzeugmodell (im einfachsten Fall: "Einspurmodell") wird anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit und des Lenkwinkels das Gierverhalten des Fahrzeugs und daraus die Schräglaufwinkel der Räder berechnet. Durch die Verwendung eines Reifenmodells wird das Rückstellmoment an den Vorderrädern berechnet. Ein nachgeschaltetes Lenksäulenmodell (Lenkrad, Lenksäule, Zahnstange, Spurhebel, Servounterstützung, etc. unter Berücksichtigung von Reibung und Elastizitäten) ermöglicht die Berechnung des Handmoments am Lenkrad.

2. Möglichkeit

In einem Kennfeld sind charakteristische Parameter für ein nachgeschaltetes Modell der Lenkcharakteristik unter Berücksichtigung von Reibung und Elastizitäten in der Lenkanlage gespeichert. In Abhängigkeit unterschiedlicher Fahrsituationen (Geschwindigkeit, Straßenreiwert, Lenkwinkel, etc.) werden die entsprechenden Handmomente berechnet.

B Ermittlung des Handmoments über Messung

Das Rückstellmoment wird mittels Messung der Momente M_v bzw. M_{v1} , M_{vT} an den Vorderrädern bzw. über eine Messung des Lenkstellerstroms I_v bzw. I_{v1} , I_{vT} ermittelt und konvertiert. Nach entsprechender Aufbereitung und Filterung gelangt das Rückstellmoment auf ein Lenksäulenmodell (s. o.), das die Berechnung des Handmoments am Lenkrad ermöglicht.

Fig. 5 gibt die schematische Darstellung des Regelkreises des Feedback-Aktuators wieder. Kernstück des Lenkradreglers 6 ist ein adaptiver Momentenregler 6a, der sicherstellt, daß das Rückstellmoment der Reifen auf das Lenkrad 1 übertragen wird. Der Momentenregler 6a liefert einen Sollstrom $I_{H,soll}$ für einen internen Stromregler 6b, der den Lenkstellmotor 5 (z. B. einen Gleichstrommotor) mit einer Spannung U_H ansteuert. Die Adaption geschieht bei der Aufbereitung des Soll-Handmoments $M_{H,soll}^*$ wie folgt:

- Das durch eine Momentenmessung M_v bzw. eine Strommessung I_v des Lenkstellers ermittelte Rückstellmoment M_v^* wird aufbereitet und bewertet (Block 613). Durch Filterung 612 können Fahrbahnunebenheiten, Vibrationen, etc. eliminiert werden. Wichtige Momentenänderungen, die bei Fahrbahnbelagsänderungen, Fahren auf Glatteis, Abdrücken des Rades am Bordstein, etc. auftreten, werden unverändert ans Lenkrad 1 übertragen.
- Das Gesamtübertragungsverhalten kann darüber hinaus mittels Parameteradaption 614 an verschiedene Fahreransprüche, die mit Hilfe einer Fahrertypenkennung 615 festgestellt werden, angepaßt werden und ermöglicht somit einen individuellen Lenkkomfort.
- Das auf der Basis eines Lenksäulenmodells 611 nachgebildete Handmoment $M_{H,soll}$ muß schließlich über eine Adaptionstrategie 616 modifiziert werden ($M_{H,soll}^*$), damit die herkömmliche Rückwirkung auf das Lenkrad bei mechanischen Lenkungen naturgetreu auch für das Steer-by-Wire-Fahrzeug hergestellt werden kann.

Das modifizierte Soll-Lenkradmoment $M_{H,soll}^*$ wird auf ein Maximalmoment begrenzt, um ein Fahrgefühl zu vermitteln, wie es bei heutigen Servolenkungen üblich ist. Aus Kosten-, Gewichts- und Platzgründen sollte der Feedback-Aktuator nur die Kräfte übertragen können, die durch den normalen Fahrbetrieb entstehen. Größere Momente, die z. B. beim Abdrücken des Rades vom Bordstein entstehen, können dem Fahrer durch eine andere Rückmeldung ("haptisches Signal" wie z. B. Vibrieren des Lenkrads) weitergegeben werden.

Fig. 6 zeigt einen Beobachter B, der anhand des Motorstroms I_H und der Lenkradbewegung schätzt, welche Momente der Fahrer auf das Lenkrad ausübt. Dazu wird aus dem gemessenen Lenkradwinkel δ_H dessen erste und zweite Ableitung $\dot{\delta}_H$ und $\ddot{\delta}_H$ vermittelt und Differenzen zu entsprechenden, durch den Beobachter B gebildeten Größen δ_H^* , $\dot{\delta}_H^*$ und $\ddot{\delta}_H^*$ gebildet. Damit kann z. B. festgestellt werden, ob der Fahrer die Hand am Lenkrad hat oder ob der Fahrer das System übersteuern möchte. Fahrerassistenzfunktionen, die der Steer-by-Wire Lenkregelung überlagert sind, benötigen diese Informationen für ihre Abschaltstrategien.

In Fig. 7 und 8 werden zwei Realisierungsvarianten der Erfindung dargestellt.

Fig. 7 zeigt eine Realisierung mittels eines Mikrorechnersystems. Die dargestellte Funktionskomponente R beinhaltet ein Mikrorechnersystem einschließlich der zugehörigen Peripheriekomponenten für die Erfassung aller Sensorsignale. Zudem ist darin auch die erforderliche Leistungselektronik zur Bildung des Ansteuersignales U_H für den Lenkradstellmotor 5 bzw. U_v für die Ansteuerung des Lenkstellers 3; 3, 4 enthalten. Die in Klammern dargestellten Sensorsignale bzw. Stellgrößen sind für die radindividuelle Realisierungsvariante des Steer-by-Wire Lenksystems gültig.

K_1 kennzeichnet ein Kommunikationssystem, z. B. realisiert mittels eines seriellen Busses, das die Verbindung zu

weiteren Steuergeräten, wie einem ABS-Steuergerät, einem ESP-Steuergerät im Kfz ermöglicht. Über dieses Kommunikationssystem werden die Sensorsignale für die Gierwinkelgeschwindigkeit $\dot{\omega}$ und für die Querbewegung a_y dem Mikrorechnersystem zugeführt. Zudem werden über K_1 Schätzwerte für den Reibkoeffizient μ zwischen Rad und Straße und ein Schätzwert der Fahrzeuggeschwindigkeit v übertragen.

5 In der in Fig. 8 dargestellten Ausführungsvariante werden die Aufgaben des Steer-by-Wire Lenksystems auf die zwei Mikrorechnersysteme R_1 und R_2 verteilt, die mittels des Systems K_1 kommunizieren. Im Mikrorechnersystem R_1 werden die Funktionen für die Regelung des Feedback-Aktuators realisiert und im Mikrorechnersystem R_2 erfolgt die Regelung des gewünschten Lenkwinkels einschließlich der im Zusammenhang mit der Fig. 4 beschriebenen Maßnahmen zur Verbesserung der Querdynamik.

10 Da das oben beschriebene Steer-by-Wire Lenksystem dazu eingerichtet ist, dem Fahrer des Kraftfahrzeugs über das Lenkrad 1 durch den Feedback-Aktuator Rückmeldungen zu übertragen, die auch entsprechend bestimmten Betriebszuständen des Kraftfahrzeugs moduliert sein können, eignet sich das erfindungsgemäße Lenksystem auch dazu, Fehlbedienungen des Fahrers am Lenkrad 1 oder an anderen Bedienungselementen des Kraftfahrzeugs mitzuteilen. Dadurch wird eine zusätzliche aktive Sicherheit beim Betrieb des Kraftfahrzeugs erreicht. Darunter seien folgende Anwendungsfälle für das erfindungsgemäße Steer-by-Wire Lenksystem erwähnt:

- Veränderung der Lenkgegenkraft bei nicht griffiger Fahrbahn, z. B. bei Aquaplaning, bei Glatteis, usw., bzw. abhängig von dem z. B. im ABS-Steuergerät ermittelten und übertragbaren Reibbeiwert in der Straßenoberfläche;
- Veränderung der Lenkgegenkraft bei Gefahr des Fahrzeugschleuderns bzw. Gefahr, daß das Fahrzeug kippt. Die Information hierzu kann vom ISP-Steuergerät übertragen werden;
- Veränderung der Lenkgegenkraft bei Strecken mit schlechter Fahrbahnoberfläche, wie beispielsweise bei Schlaglöchern oder starken Welligkeiten. Das Signal für eine Schlechtwegstrecke liegt unter anderem in dem ABS-Steuergerät vor und kann von dort an die Feedback-Aktuatoreinheit übertragen werden;
- Anzeige von Fehlbedienungen des Kraftfahrzeugs durch kurzes Ruckeln oder Vibrieren des Lenkrades, beispielsweise bei überschreiten der Maximaldrehzahl oder der maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit.

Durch die Verwendung von im Systemverbund zur Verfügung stehenden Informationen (z. B. ABS, ESP, ACC, usw.) kann zur Information des Fahrers das Rückstellmoment am Lenkrad verändert werden. Auch können Fehlerinformationen und Warnungen dem Fahrer über haptische Rückmeldungen am Lenkrad (z. B. Ruckeln) übermittelt werden.

30 Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung betrifft Fahrzeuge, die verstellbare Aufhängungssysteme zwischen dem Fahrzeugaufbau und den einzelnen Rädern aufweisen. Bei solchen sogenannten aktiven Fahrwerken bzw. Fahrwerkregelungs- oder Fahrwerksteuerungssystemen kann beispielsweise der Abstand zwischen dem Fahrzeugaufbau und den einzelnen Rädern, das Fahrzeugniveau, eingestellt werden. Darüber hinaus können die Federungs- und/oder Dämpfungseigenschaften der Aufhängungssysteme, im allgemeinen eine Kombination aus einem federnden und einem dämpfenden Element, individuell an den vorliegenden Fahrzeug-, Fahr- und/oder Fahrbahnzustand automatisch angepaßt werden. So kann beispielsweise die Dämpfung erhöht werden, wenn sich die Beladung des Fahrzeugs ändert.

Sind solche Fahrwerksysteme vorhanden, so ist in dieser Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß das Soll-Handmoment abhängig von der Einstellung der Aufhängungssysteme, also insbesondere abhängig von dem Abstand zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Rädern, der Federungseigenschaft und/oder der Dämpfungseigenschaft der Aufhängungen zwischen Aufbau und Rädern, ermittelt wird. Besonders vorteilhaft ist es hierbei, daß bei abnehmender Dämpfung und/oder abnehmender Federungshärte das Soll-Handmoment erhöht wird. So kann bei geringer Dämpfung dem Fahrer durch Erhöhung des Handmoments vermittelt werden, daß er nicht zu schnell in eine Kurve fahren sollte. Darüber hinaus kann das Handmoment insbesondere abhängig von der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit gewählt werden. Die Beeinflussung des Handmoments kann beispielsweise durch eine Kennlinie oder ein Kennfeld aus der Fahrzeughöhe (Abstand zwischen Fahrzeugaufbau und Rädern) und der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit bestimmt werden.

45 Besonders vorteilhaft ist es, daß der schon beschriebene Lenkregler dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von dem obenerwähnten Abstand, der obenerwähnten Federungseigenschaft und/oder der obenerwähnten Dämpfungseigenschaft zu verändern.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung betrifft Fahrzeuge, die ein Reifenluftdruckerfassungsgerät aufweisen, durch das der momentane Luftdruck in den Fahrzeugreifen erfaßt wird. In diesem Fall ist vorgesehen, daß das Soll-Handmoment abhängig von dem erfaßten Luftdruck ermittelt wird. Insbesondere ist dabei vorgesehen, daß der Lenkregler dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von erfaßtem Luftdruck zu verändern.

50 Fällt der Reifendruck ab (vorgebbaren Sinken des Luftdrucks) bzw. ist der Reifendruck zu niedrig (Unterschreitung des Luftdrucks unter einen vorgebbaren oder vorgegebenen Schwellenwert), so kann dem Fahrer mittels dem Handmoment durch ein Ruckeln oder Vibrieren am Lenkrad vermittelt werden, daß er nicht zu schnell, insbesondere in eine Kurve, fahren sollte. Darüber hinaus kann das Handmoment insbesondere abhängig von der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit gewählt werden. Die Beeinflussung des Handmoments kann beispielsweise durch eine Kennlinie oder ein Kennfeld aus dem erfaßten Reifendruck und der Fahrzeuglängsgeschwindigkeit bestimmt werden.

Patentansprüche

- 65 1. Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge mit einem am Lenkgetriebe (15) der Vorderachse oder an beiden lenkbaren Vorderrädern angebrachten, elektronisch geregelten Lenksteller (3, 4), einem den Fahrerlenkwunsch (δ_H , M_H) am Lenkrad (1) abgreifenden Lenkadsensor (7, 9) und mit einer Rückwirkungen der Straße an den Fahrer über das Lenkrad (1) übermittelnden Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6), **dadurch gekennzeichnet**, daß mit dem elektromechanischen Lenksteller (3, 4) ein elektronischer Lenkregler (10) funktionell verbunden ist, der mit Hilfe eines mit dem Lenkregler (10) funktionell verbundenen Sollwertbildners (11) den vom Lenkadsensor (7, 9) erfaßten Fah-

erlenkwunsch (δ_H) abhängig von fahrdynamischen Größen modifiziert und daraus einen Sollwert für den oder die Lenksteller (3, 4) bildet, wobei der Feedback-Aktuator (5, 6) einen Lenkradsteller (5), der über ein Getriebe (5a) an das Lenkrad (1) angekoppelt ist und einen mit dem Lenkradsteller (5) funktionell in Verbindung stehenden Lenkradregler (6) zur Regelung des Lenkradstellers (5) aufweist, wobei der Lenkradregler (6) ein Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) für den Fahrer aufgrund von mittels am Lenksteller (3) oder an den Lenkstellern (3, 4) angebrachten Moment- oder Stromsensoren (8) gemessenen Rückstellmomenten bzw. Rückstellströmen oder aufgrund von durch den Lenkadsensor (9) gemessenen Signalen (δ_s) und anderen im Fahrzeug vorhandenen Zustandssignalen (v , μ), wobei v die Fahrgeschwindigkeit und μ der Reibwert der Straße/Reifen sind, simulierten Rückstellmomenten ermittelt, und wobei das Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) dem an das Lenkrad durch den Lenkradsteller (5) übertragenen Handmoment zugrunde liegt.

2. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der elektronische Lenkregler (10) zur Erzeugung einer von der Fahrgeschwindigkeit abhängigen variablen Lenkwinkelübersetzung abhängig vom Fahrerlenkwunsch (δ_H) gemäß folgender Beziehung eingerichtet ist:

$$\delta_H^* = f(v) \cdot \delta_H,$$

wobei δ_H^* dem Lenkregler als neuer Sollwert zugeführt wird.

3. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der elektronische Lenkregler (10) die Lenkwinkelübersetzung durch eine von der Fahrgeschwindigkeit monoton abhängige Funktion ($f(v)$) variiert.

4. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkregler (10) funktionell mit einem Gierregler (13) verbunden ist, der zu einer fahrdynamikabhängigen Modifikation des Fahrerlenkwunsches (δ_H) eingerichtet ist, um ein gewünschtes Gierverhalten des Fahrzeugs zu erreichen.

5. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Gierregler (13) funktionell mit einem Referenzgeber (14) verbunden ist, der ein gewünschtes Gierverhalten (ω_{ref}) gemäß folgender Beziehung vorgibt:

$$\omega_{ref} = \left[\frac{v}{l \left(1 + \frac{v^2}{v_{ch}^2} \right)} \cdot \frac{\delta_H}{i_s} \right] \cdot \frac{1}{1 + T_{ref}s}$$

wobei

ω_{ref} : Soll-Giergeschwindigkeit

v : Geschwindigkeit

v_{ch} : Charakteristische Geschwindigkeit ($\approx 60 \dots 100$ km/h)

l : Achsstand

T_{ref} : Zeitkonstante

s : Laplace-Operator

sind.

6. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Gierregler im Falle radindividueller Lenksteller (3, 4) die Modifikation des Fahrerlenkwunsches abhängig von der Geometrie der jeweils kurveninneren und kurvenäußeren Räder gemäß folgender Beziehung ausführt:

$$\text{Innen:} \quad \delta_{H,i}^* = \left[\frac{R}{R - \left(\frac{b}{2} \right)} \right] \cdot \delta_H^*$$

$$\text{Außen:} \quad \delta_{H,a}^* = \left[\frac{R}{R + \left(\frac{b}{2} \right)} \right] \cdot \delta_H^*,$$

wenn b der gleiche Radabstand der Räder ist, wobei sich der Kreisradius R aus den Geschwindigkeiten v_i , v_a und dem Radabstand b der hinteren Antriebsräder durch folgende Beziehung ermitteln läßt:

$$R = \frac{b(v_a + v_i)}{2(v_a - v_i)}.$$

7. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Feedback-Si-

- mulator (12) aufgrund eines Fahrzeugmodells mit Hilfe der Fahrgeschwindigkeit und des Ist-Lenkswinkels δ_v , δ_{v1} , δ_{v1} das Gierverhalten des Fahrzeugs und daraus die Schräglaufwinkel der Räder und unter Verwendung eines Reifenmodells das Rückstellmoment an den Vorderrädern berechnet, und daß ein dem Fahrzeugmodell nachgeschaltetes Lenksäulenmodell unter Berücksichtigung von Reibung und Elastizität in der Lenksäule das Soll-Handmoment
8. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Feedback-Simulator ein Kennfeld mit charakteristischen Parametern für ein nachgeschaltetes Modell der Lenkcharakteristik speichert und in Abhängigkeit von unterschiedlichen Fahrzeugsituationen die entsprechenden Soll-Handmomente zur Beaufschlagung des Lenkradstellers (5) berechnet.
9. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) zur Ermittlung eines Soll-Handmoments das an den Vorderrädern gemessene Rückstellmoment oder den am Lenksteller oder den Lenkstellern gemessenen Rückstellstrom konvertiert und einem dem Lenkradregler (6) nachgeschalteten Lenksäulenmodell überträgt, das schließlich die Berechnung des dem Lenkradsteller zugeführten Soll-Handmoments ausführt.
10. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) das erzeugte Handmoment auf einen bestimmten Maximalwert begrenzt, um ein Fahrgefühl zu vermitteln, wie es bei heutigen Servolenkungen üblich ist.
11. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) eine Überlastung des Lenkstellers bzw. der Lenksteller durch ein an das Lenkrad durch den Lenkradsteller übertragenes haptisches Signal, zum Beispiel durch Vibrieren des Lenkrads anzeigt.
12. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Steuerung und/oder Regelung weiterer Funktionen des Kraftfahrzeugs wenigstens ein Steuergerät, insbesondere ein Antiblockier- (ABS) und/oder Antriebsschlupf- (ASR) und/oder Fahrstabilitäts- (FDR/ESP) und/oder Abstandsregel- (ACC) und/oder Motorsteuerungs- und/oder Fahrwerksteuerung- und/oder Fahrwerkregelungs- und/oder Reifenluftdruck-erfassungsgerät vorgesehen ist, wobei dem Lenkradregler (6) Informationen zugeführt werden, die in dem Steuergerät gebildet werden, und das Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) weiterhin abhängig von diesen Informationen ermittelt wird.
13. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment bei nicht griffiger Fahrbahn und/oder abhängig von einem im ABS-Steuergerät ermittelten Reibbeiwert der Straßenoberfläche zu verändern.
14. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) dazu eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von einer in einem elektronischen Steuergerät erzeugten Information, die die Gefahr des Fahrzeugschleudern bzw. Fahrzeugkippen angibt, zu verändern.
15. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) dazu eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment bei einer im ABS-Steuergerät erkannten Schlechtwegstrecke zu verändern.
16. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) dazu eingerichtet ist, ein eine Fehlbedienung des Fahrzeugs angegebendes Signal durch das Handmoment, zum Beispiel ein kurzes Ruckeln des Lenkrads bei Überschreitung der Maximaldrehzahl bzw. der maximalen Fahrgeschwindigkeit oder bei einem Fahren mit fast leerem Tank zu erzeugen.
17. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Fahrwerksteuerung- und/oder Fahrwerkregelungsgerät den Abstand zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Radeinheiten des Fahrzeugs und/oder die Federungseigenschaft und/oder Dämpfungseigenschaft der zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Radeinheiten des Fahrzeugs angebrachten Aufhängungssysteme steuert oder regelt, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß die Eigenschaften an den vorliegenden Fahrzeug-, Fahr- und/oder Fahrbahnzustand angepaßt werden, und das Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) abhängig von dem Abstand, der Federungseigenschaft und/oder der Dämpfungseigenschaft ermittelt wird, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß bei abnehmender Dämpfung und/oder abnehmender Federungshärte das Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) erhöht wird.
18. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Fahrwerksteuerung- und/oder Fahrwerkregelungsgerät den Abstand zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Radeinheiten des Fahrzeugs und/oder die Federungseigenschaft und/oder Dämpfungseigenschaft der zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Radeinheiten des Fahrzeugs angebrachten Aufhängungssysteme steuert oder regelt, und der Lenkradregler (6) dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von dem Abstand, der Federungseigenschaft und/oder der Dämpfungseigenschaft zu verändern.
19. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Reifenluftdruckerkfassungsgerät den momentane Luftdruck in den Fahrzeugreifen erfaßt, und das Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) abhängig von dem erfaßten Luftdruck ermittelt wird.
20. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkradregler (6) dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von dem erfaßten Luftdruck zu verändern, wobei insbesondere vorgesehen ist, daß bei Unterschreitung des Luftdrucks unter einen vorgebbaren oder vorgegebenen Schwellenwert und/oder bei einem vorgebbaren Sinken des Luftdrucks ein Ruckeln und/oder ein Vibrieren am Lenkrad eingestellt wird.

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

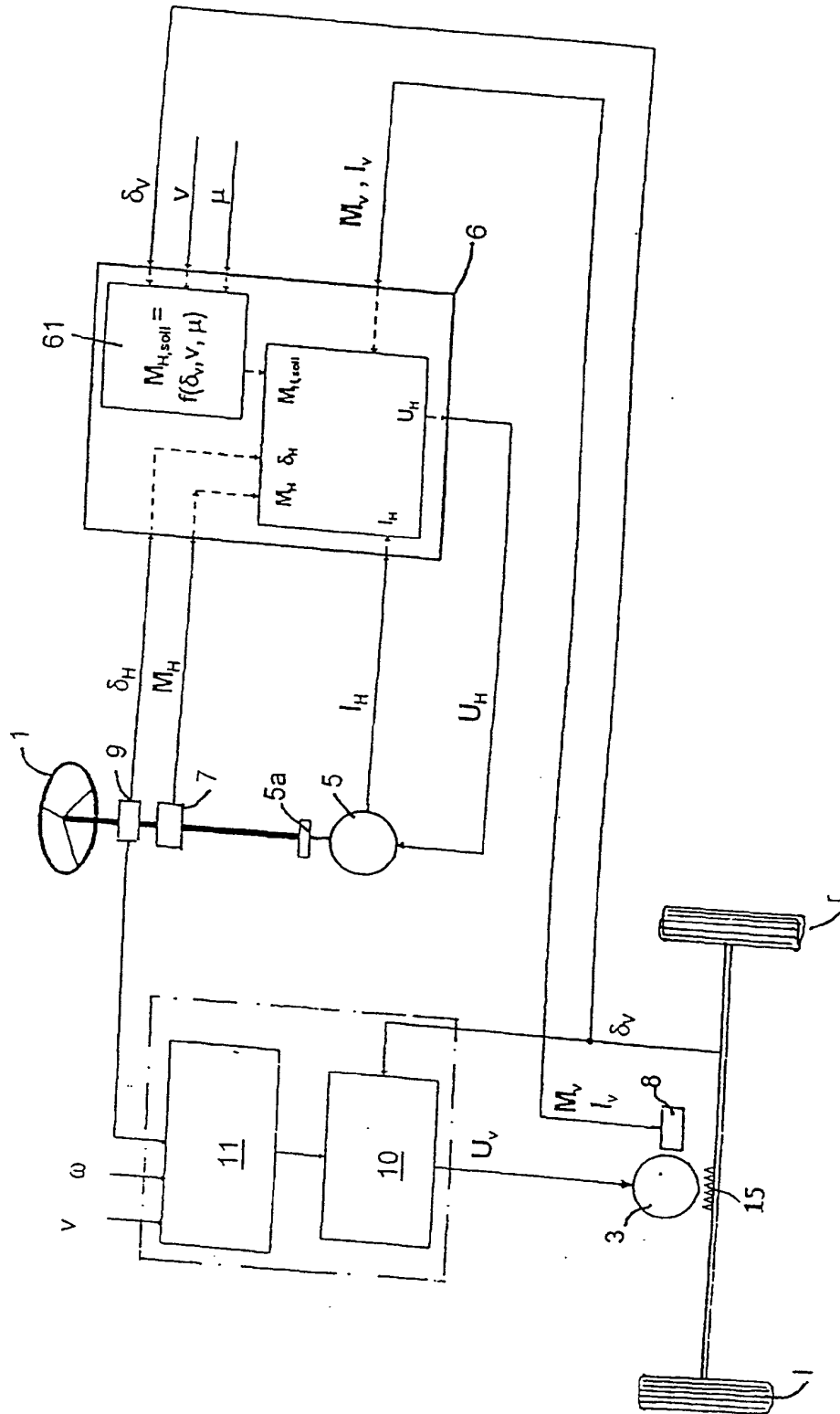


Fig. 1.

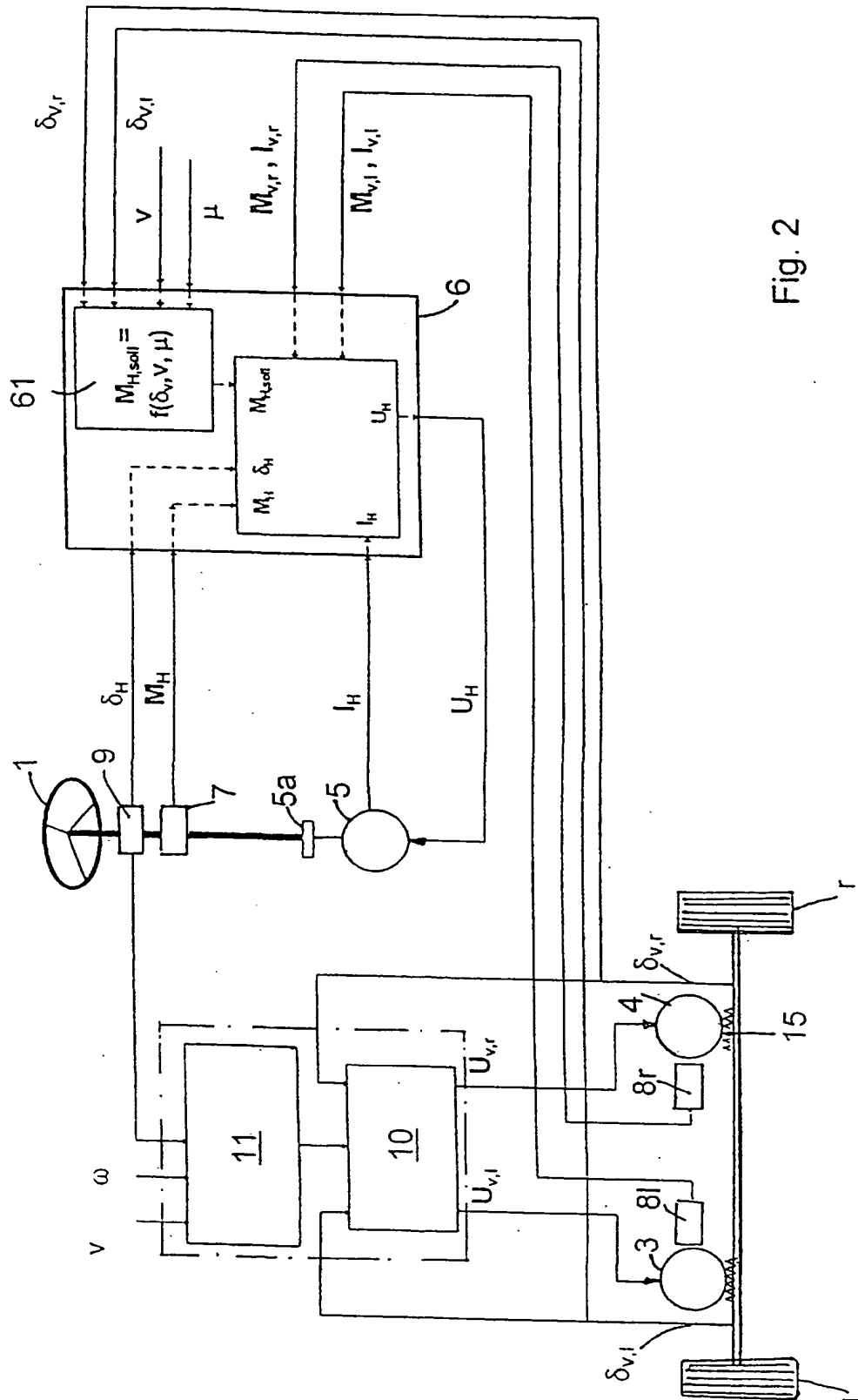


Fig. 2

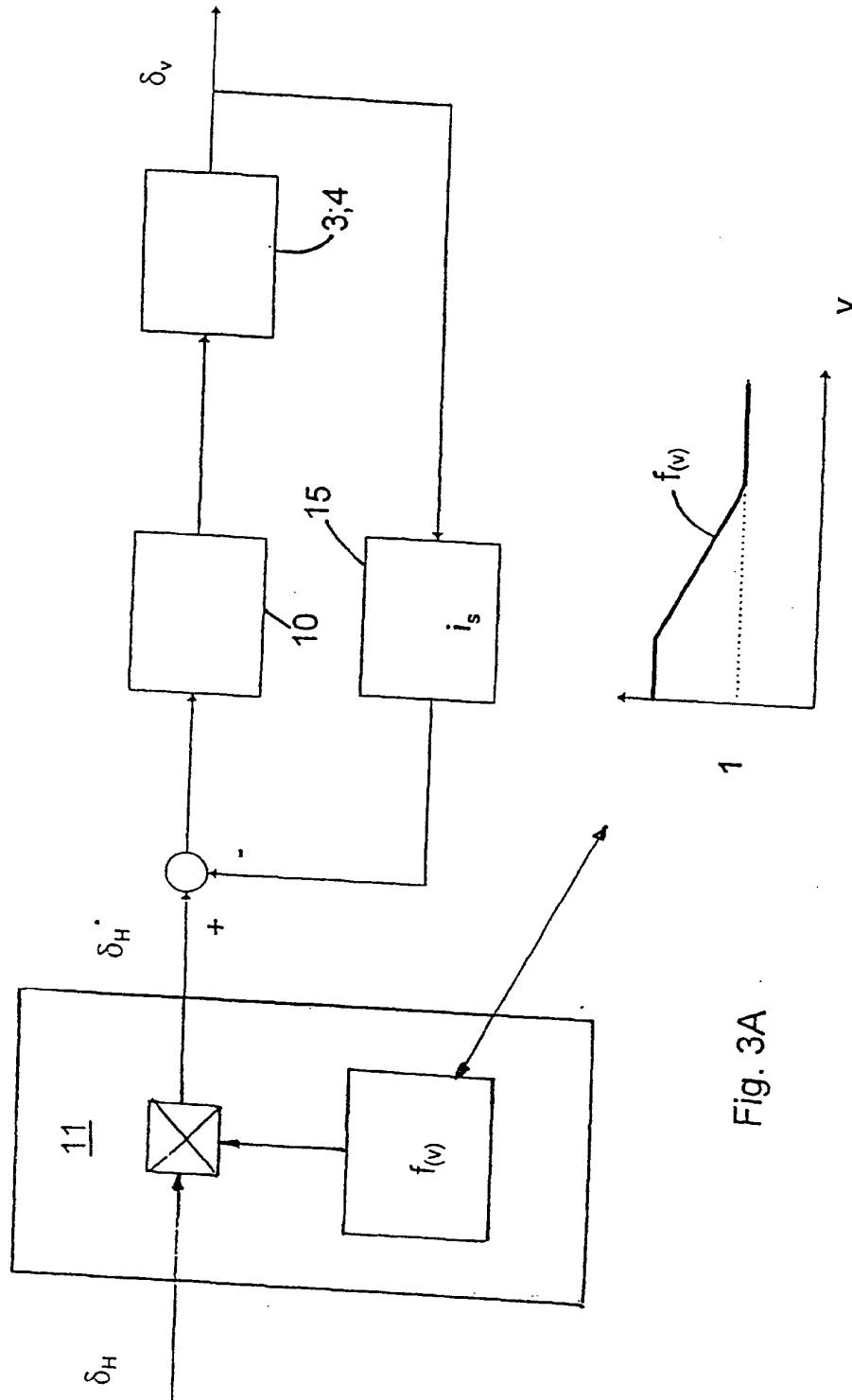


Fig. 3A

Fig. 3B

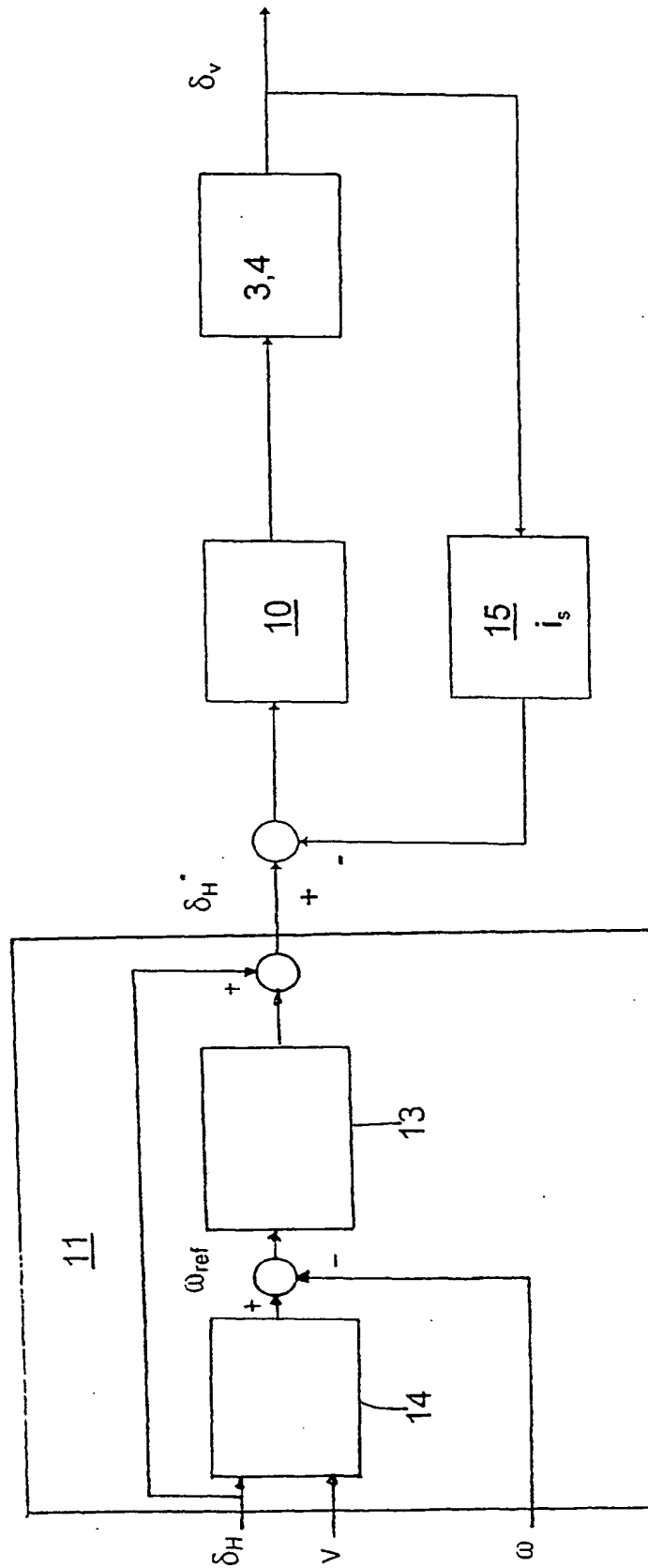


Fig. 4

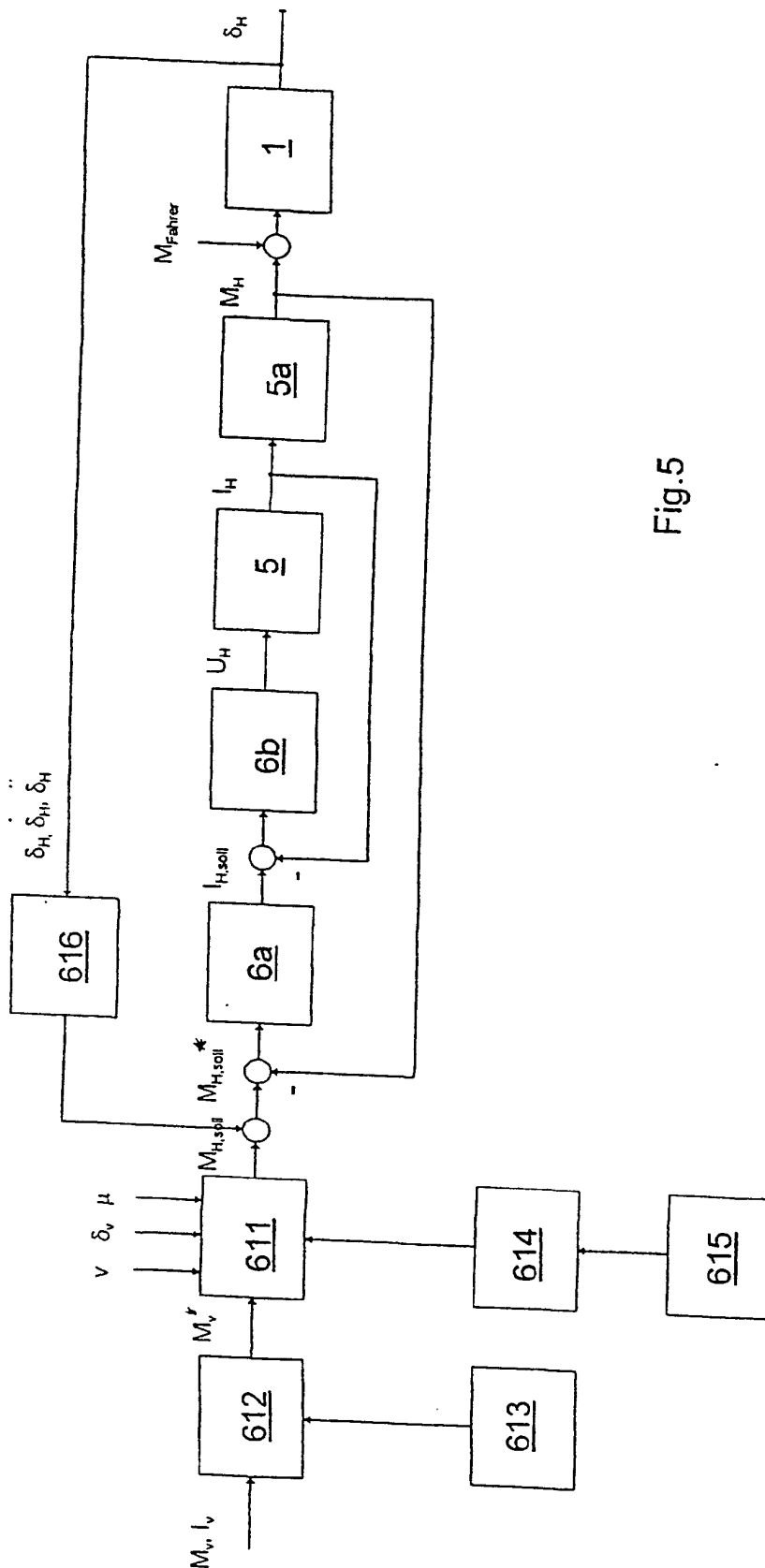


Fig.5

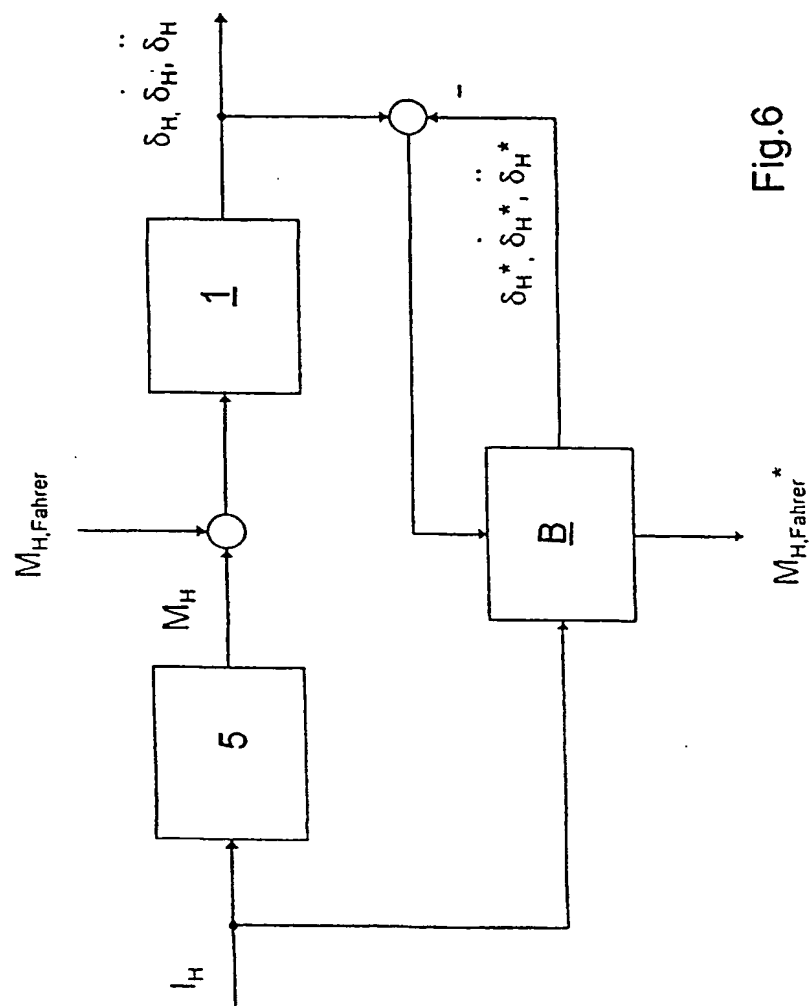


Fig.6

